

PUB-NO: DE019622758A1
DOCUMENT-IDENTIFIER: DE 19622758 A1
TITLE: Enclosed body detection method especially for
land mines
PUBN-DATE: December 11, 1997

INVENTOR-INFORMATION:

NAME	COUNTRY
HARDING, GEOFFREY PROF DR	DE

ASSIGNEE-INFORMATION:

NAME	COUNTRY
PHILIPS PATENTVERWALTUNG	DE

APPL-NO: DE19622758

APPL-DATE: June 7, 1996

PRIORITY-DATA: DE19622758A (June 7, 1996)

INT-CL (IPC): G01V005/12, G01N023/223

EUR-CL (EPC): G01V005/00 ; G01N023/223, G01V005/02

ABSTRACT:

CHG DATE=19990617 STATUS=O> The method involves using a gamma ray source (3) of less than 10 MeV energy, to irradiate the ground via an aperture (4). The annihilation radiation produced at scattering angles between 120 and 160 degrees, reaches a detector array (61, 62, 63) via a slit (7). The detectors are arranged such that each detector element receives radiation from a different depth below the ground. A filter (8) of a high atomic number material is fitted behind the slit, in order to attenuate the Compton scattering radiation produced by the irradiation, considerably.

⑯ BUNDESREPUBLIK
DEUTSCHLAND



DEUTSCHES
PATENTAMT

⑯ Offenlegungsschrift
⑯ DE 196 22 758 A 1

⑯ Int. Cl. 6:
G 01 V 5/12
G 01 N 23/223

DE 196 22 758 A 1

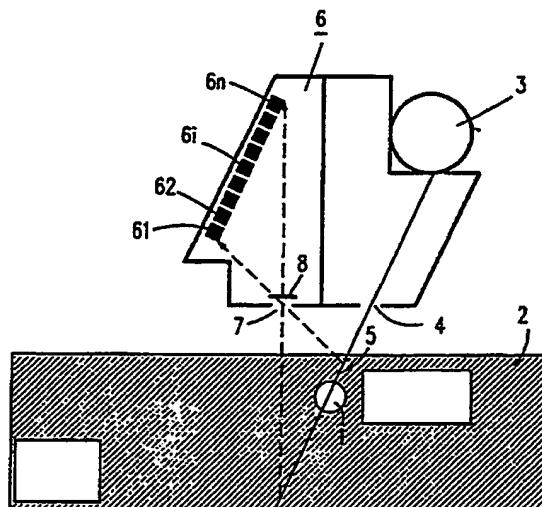
⑯ Aktenzeichen: 196 22 758.5
⑯ Anmeldetag: 7. 6. 96
⑯ Offenlegungstag: 11. 12. 97

⑯ Anmelder:
Philips Patentverwaltung GmbH, 22335 Hamburg, DE

⑯ Erfinder:
Harding, Geoffrey, Prof. Dr., 22547 Hamburg, DE

⑯ Verfahren zur Detektion eines Körpers innerhalb eines Untersuchungsbereichs und Anordnung zur Durchführung des Verfahrens

⑯ Die Erfindung betrifft ein Verfahren zur Detektion eines Körpers innerhalb eines Untersuchungsbereiches, wobei die mittleren Ordnungszahlen des Körpers einerseits und des Untersuchungsbereichs andererseits voneinander abweichen - insbesondere zur Detektion von Landminen im Boden, wobei der Untersuchungsbereich mit Gammastrahlung bestrahlt und die dadurch erzeugte Vernichtungsstrahlung gemessen und ausgewertet wird. Zwecks Detektion der gesuchten Körper wird der Untersuchungsbereich mit Gammastrahlung bestrahlt, die zur Erzeugung von Elektron-Positron-Paaren ausreicht, jedoch kleiner ist als 10 MeV. Die von dem Gammastrahlbündel im Untersuchungsbereich erzeugte Strahlung wird von mehreren Detektorelementen erfaßt, die so angeordnet sind, daß sie jeweils nur einen Abschnitt des Gammastrahlbündels erfassen können.



DE 196 22 758 A 1

Die folgenden Angaben sind den vom Anmelder eingereichten Unterlagen entnommen

BUNDESDRUCKEREI 10. 97 702 050/233

7/23

Beschreibung

Die Erfindung betrifft ein Verfahren zur Detektion eines Körpers innerhalb eines Untersuchungsbereiches, wobei die mittlere Ordnungszahl n des Körpers einerseits und des Untersuchungsbereiches andererseits voneinander abweichen — insbesondere zur Detektion von Landminen im Boden, wobei der Untersuchungsbereich mit Gammastrahlung bestrahlt und die dadurch erzeugte Vernichtungsstrahlung gemessen und ausgewertet wird sowie eine Anordnung zur Durchführung des Verfahrens.

Aus der EP-B 0 358 237 ist bereits ein Verfahren bekannt, mit dem u. a. Sprengkörper im Boden detektiert werden können. Dabei wird der Untersuchungsbereich (der Boden) mit Gammastrahlung in einem Bereich zwischen 10,6 MeV und 13,0 MeV bestrahlt. Diese Energie reicht aus, um aus den in dem Sprengstoff der Landmine enthaltenen Stickstoff in ein radioaktives Isotop zu überführen, nicht aber die übrigen im Boden normalerweise enthaltenen Stoffe. Die Stickstoffisotope verfallen, wobei sie Positronen emittieren, die mit freien Elektronen in Wechselwirkung treten und dabei Vernichtungsstrahlung (annihilation radiation) von 0,511 MeV erzeugen. Durch Messung der Vernichtungsstrahlung läßt sich somit die Stickstoffkonzentration im Boden bestimmen. Eine erhöhte Konzentration von Stickstoff deutet auf Sprengstoff im Boden hin.

Die Gammastrahlung wird von einer Bremsstrahlung emittierenden Gammastrahlenquelle (z. B. einem Beschleuniger) erzeugt, die die Gammastrahlung bekanntlich impulsweise aussendet. In den Impulspausen entsteht im Boden im wesentlichen nur Vernichtungsstrahlung, so daß diese leicht erfaßt werden kann und ein Sprengkörper auch dann noch detektiert werden kann, wenn er nur einen kleinen Teil des bestrahlten Untersuchungsbereichs ausfüllt. Nachteilig bei dem bekannten Verfahren ist, daß es eine Gammastrahlenquelle benötigt, die Quantenenergien von mehr als 10 MeV liefert. Bei derartigen Energien ist eine wirksame Abschirmung zum Schutz der Bedienungsperson sehr schwierig. Außerdem wird durch die Bestrahlung der Untersuchungsbereich radioaktiv — zumindest wenn er Stickstoff enthält.

Aufgabe der vorliegenden Erfindung ist es, ein Verfahren der eingangs genannten Art so auszustalten, daß eine Detektion mit Gammastrahlung niedrigerer Energie möglich wird, und zwar auch dann, wenn sich der Körper in unterschiedlicher Tiefe des Untersuchungsbereichs befindet.

Diese Aufgabe wird erfindungsgemäß dadurch gelöst, daß

- die Energie der Gammastrahlung kleiner ist als 10 MeV,
- ein den Untersuchungsbereich durchsetzendes Gammastrahlenbündel ausgeblendet wird,
- zumindest die im Untersuchungsbereich erzeugte Vernichtungsstrahlung von mehreren Detektorelementen gemessen wird, die so angeordnet sind, daß sie jeweils nur die von einem der Abschnitte des Gammastrahlenbündels ausgehende Strahlung erfassen können.

Bei der Erfindung wird Gammastrahlung mit einer Energie von weniger als 10 MeV verwendet. Der bestrahlte Untersuchungsbereich kann dabei nicht radioaktiv werden. Durch die Bestrahlung werden jedoch

Elektron-Positron-Paare erzeugt, die nach ca. 5 mm Weg im Untersuchungsbereich unter Aussendung von Vernichtungsstrahlung rekombinieren. Die Intensität der Vernichtungsstrahlung hängt quadratisch von der mittleren Ordnungszahl (mean atomic number) ab, so daß die in dem Körper entstehende Vernichtungsstrahlung eine höhere oder eine niedrigere Intensität hat als die im übrigen Untersuchungsbereich erzeugte Röntgenstrahlung — je nachdem, ob die mittlere Ordnungszahl des Körpers größer oder kleiner ist. Zur Messung der als Folge der Bestrahlung erzeugten Strahlung sind mehrere Detektorelemente vorgesehen, die unterschiedliche Abschnitte des Gammastrahlenbündels "sehen" können. Trifft das Gammastrahlenbündel in dem Untersuchungsbereich auf einen (Spreng-) Körper, dann ist die von mindestens einem der Detektorelemente gemessene Strahlung vollständig von der Zusammensetzung dieses Körpers abhängig, während die von den anderen Detektorelementen gemessenen Signale davon unabhängig sind. Das erfindungsgemäß Verfahren ermöglicht dadurch die Auffindung von Körpern in einer Tiefe des Untersuchungsbereichs (z. B. 50 cm), die groß ist im Vergleich zu den Abmessungen des Körpers (z. B. 5 oder 10 cm).

Es sei an dieser Stelle erwähnt, daß aus der DE-PS 30 47 824 ein Verfahren zur quantitativen Bestimmung des Aschegehalts in Kohle bekannt ist, bei dem ebenfalls die direkte Erzeugung von Elektron-Positron-Paaren ausgenutzt wird. Dabei wird die Kohleprobe von der Strahlung eines Radionuklids getroffen und die Messung der dadurch hervorgerufenen Vernichtungsstrahlung mit einer Messung der Compton-Streustrahlung kombiniert. Zu diesem Zweck wird ein Energieauflösend messender Detektor verwendet.

Durch die Bestrahlung des Untersuchungsbereichs besteht darin nicht nur Vernichtungsstrahlung, sondern auch Compton-Streustrahlung. Wenn man nur die nach rückwärts — bezogen auf die Richtung des Gammastrahlenbündels — austretende Strahlung erfaßt (was bei der Detektion eines Körpers im Boden ohnehin nicht anders möglich ist), dann ist die Energie der Compton-Streustrahlung geringer als die Energie der Vernichtungsstrahlung. Eine bevorzugte Weiterbildung der Erfindung sieht daher vor, daß die Bewegungsrichtung der von den Detektorelementen erfaßten Gammaquanten mit der Bewegungsrichtung der in den Untersuchungsbereich eindringenden Gammaquanten einen Winkel zwischen 90° und 180° einschließt, vorzugsweise zwischen 120° und 160°. Bei einem Streuwinkel von 120° oder mehr ist die maximale Energie der Compton-Streustrahlung niedriger als 320 keV (im Vergleich zu 511 keV für die Vernichtungsstrahlung).

Eine andere Weiterbildung der Erfindung sieht vor, daß die Gammastrahlung von einer Bremsstrahlungsspektrum emittierenden Gammastrahlenquelle erzeugt wird. Dabei kann es sich um einen Linearbeschleuniger oder um ein Betatron handeln, die Gammastrahlung mit wesentlich höherer Intensität erzeugen können als ein Radionuklid, obwohl sie die Gammastrahlung nur pulsweise emittieren.

Wenn die Strahlung aus dem Untersuchungsbereich energieaufgelöst gemessen wird, sind nur verhältnismäßig geringe Zählraten möglich, insbesondere wenn die Gammastrahlung nur impulsweise mittiert wird. Mißt man hingegen nicht energieaufgelöst, dann sind wesentlich höhere Zählraten möglich, so daß auch eine Gammastrahlenquelle mit hoher Intensität verwendet werden kann. Um auch in diesem Fall die Vernichtungs-

strahlung weitgehend unabhängig von der Compton-Streustrahlung messen zu können, sieht ein Weiterbildung der Erfindung vor, daß bei der Messung der aus dem Untersuchungsbereich emittierten Strahlung ein Filter aus einem Material mit einer hohen Ordnungszahl benutzt wird, das so bemessen ist, daß sich eine geringe Schwächung für die Vernichtungsstrahlung und eine erhebliche Schwächung für die Compton-Streustrahlung ergibt. Ein 2 mm dickes Uranfilter beispielsweise hat bei 255 keV eine Transmission von weniger als 5%, bei 511 keV jedoch eine Transmission von 50%.

In weiterer Ausgestaltung der Erfindung kann dabei vorgesehen sein, daß eine Messung mit Filter und eine zweite Messung ohne Filter durchgeführt wird und daß die dabei gewonnenen Meßsignale ausgewertet werden. Kombiniert man die bei den beiden Messungen erhaltenen Signale in geeigneter Weise, dann lassen sich die Vernichtungsstrahlung und die Comptonstreustrahlung voneinander trennen.

Eine Anordnung zur Durchführung des erfundungsgemäßen Verfahrens ist gekennzeichnet durch eine Bremsstrahlung mit einer maximalen Energie von 10 MeV emittierenden Gammastrahlenquelle, 20 einer Blendenanordnung zum Ausblenden eines Gammastrahlbündels, einer mit der Gammastrahlenquelle verbundenen Detektoranordnung, die mehrere in Richtung senkrecht zum Untersuchungsbereich versetzte Detektorelemente aufweist und mit einer schlitzförmigen Öffnung versehen ist, durch die hindurch das einzelne Detektorelement die in einem Abschnitt des Gammastrahlbündels erzeugte Vernichtungsstrahlung erfaßt.

Die Erfindung wird nachstehend anhand einer Zeichnung näher erläutert, die in schematischer Darstellung eine Anordnung zur Detektion von Sprengkörpern im Erdboden 2 darstellt. Ein solcher Sprengkörper in Form einer Landmine ist in der Zeichnung mit 1 bezeichnet. Die Anordnung umfaßt eine Gammastrahlenquelle 3, die Bremsstrahlung mit einer Maximalenergie von 5 MeV erzeugen kann. Dabei kann es sich um einen Linearbeschleuniger oder um ein Betatron handeln, die die Gammastrahlung impulsweise emittieren. Das Target, von dem die Gammastrahlung ausgeht, sollte dabei von dem Erdboden einen Abstand von etwa 2 m haben — wenn ein hin- und hergehendes Gammastrahlbündel erzeugt werden soll.

Durch eine Blendenanordnung 4 wird ein Gammastrahlbündel ausgebündelt, von dem in der Zeichnung nur der Zentralstrahl 5 dargestellt ist. Wenn das Gammastrahlbündel einen zu großen Querschnitt hat, so daß noch ein erhebliches Volumen des Untersuchungsbereichs um den Sprengkörper herum bestrahlt wird, machen sich Intensitätsunterschiede der Gammastrahlung kaum noch bemerkbar, während bei einem sehr kleinen Querschnitt des Gammastrahlbündels die Intensität der erzeugten Vernichtungsstrahlung gering ist. Das Gammastrahlbündel sollte daher im Untersuchungsbereich einen Querschnitt aufweisen, der mit den Abmessungen des Sprengkörpers vergleichbar ist, z. B. ca. 5 cm. Dieser ist einerseits genügend groß, um Strahlung mit einer ausreichenden Intensität zu erzeugen, andererseits aber auch ausreichend klein, um bei der Erfassung einer Landmine Signale zu erhalten, die im wesentlichen von deren stofflicher Zusammensetzung bestimmt sind. Der Zentralstrahl 5 dringt dabei unter einem Winkel von ca. 20° mit der Vertikalen in den Erdboden ein.

Die Gammastrahlung wird dabei durch zwei Effekte

geschwächt, nämlich durch die Compton-Streuung und durch die Erzeugung von Elektron-Positron-Paaren. Durch die Compton-Streuprozesse ändert sich die Energie der Gammaquanten entsprechend dem Winkel, den die gestreuten Quanten mit der Richtung des sie erzeugenden Gammaquants einschließen. Wenn dieser Streuwinkel klein ist, nimmt die Energie der Gammaquanten nur geringfügig ab. Bei einem Streuwinkel von 1800° hingegen haben die durch den Streuprozess erzeugten Gammaquanten nur noch eine Energie von weniger als 255 keV. — Diejenigen Gammaquanten in dem primären Gammastrahlbündel, die eine Energie von mehr als 1,022 MeV aufweisen, d. h. von mehr als dem Zweifachen der Vernichtungsstrahlung, können auch Elektron-Positron-Paare erzeugen, die die überschüssige Energie des erzeugenden Gammaquants aufnehmen und nach einer mittleren Wegstrecke von ca. 5 mm rekombinieren. Bei der Rekombination eines Positrons mit einem Elektron entstehen zwei Gammaquanten mit einer Energie von je 511 keV, da bei dieser Rekombination das Positron vernichtet wird, wird diese Strahlung als Vernichtungsstrahlung bezeichnet.

Die Wahrscheinlichkeit für die Erzeugung eines Positron-Elektron-Paars hängt vom Quadrat der mittleren Ordnungszahl ab. Da Landminen meist mit Plastiksprengstoff gefüllt sind, der reich an Stickstoff ist, ergibt sich dafür eine niedrigere mittlere Ordnungszahl als für den umgebenden Erdboden (SiO_2). Trifft das Gammastrahlbündel daher auf eine Landmine, dann hat die davon ausgehende Vernichtungsstrahlung eine geringere Intensität als die im Erdboden erzeugte Vernichtungsstrahlung. Dieser Effekt kann zur Detektion von Landminen in verdächtigen Bodenregionen benutzt werden.

Die im Boden erzeugte Strahlung wird von einer Detektoranordnung 6 gemessen, die mit der Gammastrahlenquelle 3 verbunden ist und mehrere Detektorelemente 61, 62, 6i umfaßt, die durch einen Schlitz 7 hindurch, der sich senkrecht zur Zeichenebene erstreckt, nur die Strahlung erfassen können, die in einem bestimmten Abschnitt des Gammastrahlbündels 5 innerhalb des Erdbodens erzeugt wird. Dabei erfaßt das Detektorelement 61 die Strahlung, die im obersten Bereich des Erdbodens erzeugt wird, während das Detektorelement 6n die Strahlung aus der tiefsten Schicht erfaßt, in der Landminen entdeckt werden sollen — z. B. aus 50 cm Tiefe. Dabei ist es zweckmäßig, wenn die Strahlung aus diesem Bereich zu dem Detektorelement 6n senkrecht verläuft, weil sie dann am wenigsten durch den Erdboden geschwächt wird. Die Detektorelemente 61...6i, 6n sind dabei so angeordnet, daß die von ihnen erfaßten Gammaquanten auf ihrem Weg zum Detektorelement einen Weg nehmen, der mit der Richtung des Gammastrahlbündels 5 einen Winkel zwischen etwa 120° und 160° einschließen. Das hat zur Folge, daß die Compton-Streustrahlung, die ebenfalls zu den Detektorelementen gelangt, eine Maximalenergie von weniger als 320 keV aufweist, so daß sie auf dem Weg im Erdboden wesentlich starker geschwächt wird als die 511 keV Vernichtungsstrahlung.

Zur zusätzlichen Schwächung kann im Strahlengang der zu messenden Strahlen z. B. vor oder hinter der schlitzförmigen Öffnung 7 ein Filter 8 aus einem Material mit einer hohen Ordnungszahl angeordnet werden, so daß der durch den Photoeffekt bewirkte Schwächungsanteil besonders hoch ist. Ein geeignetes Material ist beispielsweise ein 2 mm dickes Filter aus Uran, das für Strahlung mit einer Energie von 255 keV eine Transmis-

sion von weniger als 5%, jedoch für Strahlung von 511 keV (Vernichtungsstrahlung) eine Transmission von mehr als 50% aufweist. Mit diesem Filter läßt sich die Compton-Streustrahlung weitgehend unterdrücken.

Es ist aber auch möglich, zwei Messungen durchzuführen, eine mit Filter und eine ohne Filter. Dieses Detektorelement liefert dabei zwei Signale S_1 bzw. S_2 aus denen durch eine geeignete Linearkombination die einzelnen Strahlungsanteile getrennt erfaßt werden können. Sinn der Differenzmessung ist es, die Intensität der Vernichtungsstrahlung ohne die Verfälschung durch Compton-Streustrahlung zu messen. Die Signale S_1 (mit Filter) und S_2 genügen den folgenden Bedingungen:

$$S_1 = c(a I_c + b I_a) \quad (1)$$

und

$$S_2 = c(I_c + I_a) \quad (2)$$

Dabei ist c ein Proportionalitätsfaktor, und a bzw. b sind die Schwächungskoeffizienten des Filters für die Comptonstrahlung I_c bzw. Vernichtungsstrahlung I_a , wobei a klein ist im Vergleich zu b . Die Werte a und b können für jedes Detektorelement bestimmt werden durch Kalibrationsmessungen an bekannten Objekten. Die (für jedes Detektorelement gemessenen) Werte der Signale Signale S_1 bzw. S_2 werden dann in die Gleichungen (1) und (2) eingesetzt um die Intensität I_a der Vernichtungsstrahlung zu ermitteln.

Die Detektorelemente können zur Zeichenebene senkrechte Streifen aus geeignetem Szintillator-Material sein, das einen Querschnitt von z. B. 5×5 cm hat. Diese Detektorelemente sind so geschaltet, daß das Detektorausgangssignal ein Maß für die Zahl der pro Zeitseinheit gemessenen Gammaquanten ist (nicht aber für die Energie einzelner Gammaquanten). Für den vorliegenden Zweck geeignete Detektorelemente können ähnliche Eigenschaften haben wie die Detektoren, die für die Positronen-Emissions-Tomographie (PET) benutzt werden.

Um einen größeren Bereich innerhalb des Erdbodens untersuchen zu können, ist es zweckmäßig, das Gammastrahlenbündel senkrecht zur Zeichenebene (und damit parallel zur schlitzförmigen Öffnung 7) abzulenken. Dies kann mit Hilfe einer Blendenanordnung mit in dieser Richtung bewegter Öffnung erfolgen, z. B. einer Art Nipkow-Scheibe. Dabei muß allerdings in Betracht gezogen werden, daß bei einer Bremsstrahlung von 5 MeV die hohen Photonenenergien auf einen Kegel mit einem halben Öffnungswinkel von etwa 10° beschränkt sind, so daß das Target der Gammastrahlenquelle sich etwa 2,5 m über dem Boden befinden muß, wenn durch den hin- und hergehenden Gammastrahl ein Streifen von etwa 1 m Breite erfaßt werden soll. Nach der Erfassung jeweils eines Streifens kann die gesamte Anordnung mittels eines nicht näher dargestellten Fahrwerks in horizontaler Richtung verschoben werden. Die Verschiebung kann kontinuierlich mit einer von der Ablenkgeschwindigkeit des Abtaststrahlenbündels abhängigen Geschwindigkeit erfolgen.

Patentansprüche

1. Verfahren zur Detektion eines Körpers innerhalb eines Untersuchungsbereiches, wobei die mittleren Ordnungszahlen des Körpers einerseits und des Untersuchungsbereiches andererseits voneinander abweichen — insbesondere zur Detektion von Landminen im Boden, wobei der Untersuchungsbereich mit Gammastrahlung bestrahlt und die dadurch erzeugte Vernichtungsstrahlung ge-

messen und ausgewertet wird, dadurch gekennzeichnet, daß

a) die Energie der Gammastrahlung kleiner ist als 10 MeV,

b) ein den Untersuchungsbereich durchsetzender Gammastrahlenbündel ausgeblendet wird,

c) zumindest die im Untersuchungsbereich erzeugte Vernichtungsstrahlung von mehreren Detektorelementen gemessen wird, die so angeordnet sind, daß sie jeweils nur die von einem der Abschnitte des Gammastrahlenbündels ausgehende Strahlung erfassen können.

2. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß die Bewegungsrichtung der von den Detektorelementen erfaßten Gammaquanten mit der Bewegungsrichtung der in den Untersuchungsbereich eindringenden Gammaquanten einen Winkel zwischen 90° und 180° einschließt, vorzugsweise zwischen 120° und 160° .

3. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß die Gammastrahlung von einer ein Bremsstrahlungsspektrum emittierenden Gammastrahlenquelle erzeugt wird.

4. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß bei der Messung der aus dem Untersuchungsbereich emittierten Strahlung ein Filter aus einem Material mit einer hohen Ordnungszahl benutzt wird, das so bemessen ist, daß sich eine geringe Schwächung für die Vernichtungsstrahlung und eine erhebliche Schwächung für die Compton-Streustrahlung ergibt.

5. Verfahren nach Anspruch 3, dadurch gekennzeichnet, daß eine Messung mit Filter und eine zweite Messung ohne Filter durchgeführt wird und daß die dabei gewonnenen Meßsignale ausgewertet werden.

6. Anordnung zur Durchführung des Verfahrens nach Anspruch 1, gekennzeichnet durch eine Bremsstrahlung mit einer maximalen Energie von 10 MeV emittierenden Gammastrahlenquelle, einer Blendenanordnung zum Ausblenden eines Gammastrahlenbündels, einer mit der Gammastrahlenquelle verbundenen Detektoranordnung, die mehrere in Richtung senkrecht zum Untersuchungsbereich versetzte Detektorelemente aufweist und mit einer schlitzförmigen Öffnung versehen ist, durch die hindurch das einzelne Detektorelement die in einem Abschnitt des Gammastrahlenbündels erzeugte Vernichtungsstrahlung erfaßt.

Hierzu 1 Seite(n) Zeichnungen

- Leerseite -

